
Eberhard Roos • Karl Maile

Werkstoffkunde für Ingenieure

Grundlagen, Anwendung, Prüfung

5. Auflage

 Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick	1
1.1	Was ist ein Werkstoff?	1
1.2	Werkstoffkunde	2
1.3	Geschichte und Zukunft	4
2	Atomarer Aufbau kristalliner Stoffe	7
2.1	Atomaufbau	7
2.2	Die chemischen Elemente	8
2.2.1	Eigenschaften metallischer Elemente	8
2.2.2	Einteilung und Übersicht	9
2.2.3	Leichtmetalle	9
2.2.4	Schwermetalle	10
2.2.5	Bindungen zwischen Atomen	10
2.3	Anordnung der Atome im festen Körper	11
2.3.1	Kristallstrukturen	13
2.3.2	Modifikationen – Allotropie (Polymorphie)	17
2.3.3	Kristallographische Ebenen	19
2.4	Reale kristalline Festkörper	23
2.4.1	Nulldimensionale Gitterstörungen	23
2.4.2	Eindimensionale Fehler	24
2.4.3	Zweidimensionale Fehler	29
2.4.4	Dreidimensionale Fehler	31
2.5	Fragen zu Kap. 2	31
3	Legierungsbildung	33
3.1	Grundbegriffe	33
3.1.1	Substitutionsmischkristall	34
3.1.2	Einlagerungsmischkristall	35
3.2	Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen	36
3.2.1	Vollkommene Unlöslichkeit im flüssigen und im festen Zustand	37
3.2.2	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und im festen Zustand ..	38

3.2.3	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und vollkommene Unlöslichkeit im festen Zustand	40
3.2.4	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und teilweise Löslichkeit im festen Zustand	42
3.2.5	Peritektisches System	44
3.2.6	Verbindungsbildung	45
3.3	Zustandsdiagramme von Dreistoffsystemen	47
3.4	Reale Zustandsdiagramme	48
3.5	Gefügeänderungen im festen Zustand	50
3.5.1	Ausscheidungshärtung	50
3.5.2	Eutektische Umwandlung	52
3.6	Fragen zu Kapitel 3	53
4	Thermisch aktivierte Vorgänge	55
4.1	Allgemeines	55
4.2	Diffusion	57
4.3	Kristallerholung und Rekristallisation	61
4.3.1	Kristallerholung	61
4.3.2	Rekristallisation	62
4.3.3	Weiteres Kornwachstum nach Rekristallisation	66
4.4	Sintervorgänge	69
4.5	Fragen zu Kap. 4	70
5	Mechanische Eigenschaften	73
5.1	Einleitung	73
5.2	Reversible Verformung	74
5.2.1	Elastische Verformung	74
5.2.2	Hyperelastisches Verhalten	79
5.2.3	Anelastische Verformung	80
5.3	Irreversible Verformung	81
5.3.1	Plastische Verformung	81
5.3.2	Verformungstexturen	90
5.3.3	Eigenspannungen	91
5.3.4	Viskose Verformung	93
5.3.5	Superplastizität	94
5.3.6	Kriechen	96
5.3.7	Relaxation	99
5.4	Schwingfestigkeitsuntersuchung	100
5.4.1	Grundlagen	100
5.4.2	Spannungskontrollierter Versuch (Wöhlerversuch)	101
5.4.3	Dehnungskontrollierter Versuch (Anrisskennlinie)	103
5.4.4	Einflussgrößen auf die Dauerfestigkeit	106

5.5	Verfestigungsmechanismen	109
5.5.1	Kaltverfestigung	110
5.5.2	Mischkristallverfestigung	111
5.5.3	Ausscheidungshärtung	113
5.5.4	Verfestigung durch Kornverfeinerung	113
5.6	Bruchvorgänge und Bruchmechanik	114
5.6.1	Verformungsloser Bruch (Sprödbbruch, Spaltbruch)	115
5.6.2	Verformungsbruch	120
5.6.3	Ermittlung des J-Integrals (Bauteilcharakteristik)	122
5.6.4	Ermittlung der zähbruchmechanischen Werkstoffkennwerte ..	123
5.6.5	Zeitstand- bzw. Kriechbruch	125
5.6.6	Zeit- und Dauerbruch	127
5.7	Zerstörungsfreie Prüfung	130
5.7.1	Replika-Methode	135
5.7.2	Weiterentwicklung	135
5.8	Fragen zu Kap. 5	136
6	Eisenwerkstoffe	137
6.1	Gewinnung und Verarbeitung von Eisen	137
6.1.1	Erze und Erzaufbereitung	137
6.1.2	Roheisengewinnung	137
6.1.3	Roheisenweiterverarbeitung zu Stahl (Frischen)	140
6.1.4	Verfahren der Nachbehandlung des Stahles	142
6.1.5	Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren (ESU) ..!	143
6.2	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	144
6.2.1	Eisen-Kohlenstoffdiagramm	144
6.2.2	Phasenbildungen	145
6.3	Legierungen	152
6.3.1	Stahl	152
6.3.2	Bezeichnungssysteme der Stähle	155
6.3.3	Einteilung und Verwendung von Stählen	159
6.4	Verfahren zur Eigenschaftsänderung	161
6.4.1	Glühen von Stahl	161
6.4.2	Härten und Vergüten von Stahl	164
6.4.3	Ausscheidungshärtung	186
6.5	Stähle für besondere Anforderungen	186
6.5.1	Stähle für den Kraftwerks- und Anlagenbau	186
6.5.2	Hochfeste Feinkornbaustähle (FK-Stähle)	187
6.5.3	Warmfeste legierte Stähle für Druckbehälter und Schmiedestücke	192
6.5.4	Hochfeste Stähle für den Automobilbau	195
6.6	Versprödungserscheinungen an Stählen	200
6.6.1	Diffusions- und Ausscheidungsvorgänge	201

6.7	Eisengusswerkstoffe	206
6.7.1	Einteilung	207
6.7.2	Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL)	207
6.7.3	Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS)	210
6.7.4	Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV)	212
6.8	Werkstofftechnische Zusammenhänge beim Schweißen von Stählen ...	214
6.8.1	Bedeutung der Schweißtechnik	214
6.8.2	Werkstofftechnische Vorgänge beim Schmelzschweißen	214
6.8.3	Gefügeausbildungen	214
6.8.4	Auswirkungen auf das Festigkeitsverhalten	217
6.9	Fragen zu Kap. 6	218
7	Nichteisenmetalle	219
7.1	Kupfer und Kupferlegierungen (Buntmetalle)	219
7.1.1	Kupfer	219
7.1.2	Kupferlegierungen	223
7.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	230
7.2.1	Aluminium	230
7.2.2	Legierungen	233
7.3	Titan und Titanlegierungen	241
7.3.1	Herstellung	241
7.3.2	Reines Titan	242
7.3.3	Titanlegierungen	244
7.4	Nickel und Nickellegierungen	247
7.4.1	Nickel	247
7.4.2	Nickellegierungen	248
7.5	Magnesium und Magnesiumlegierungen	259
7.5.1	Herstellung und Verarbeitung	259
7.5.2	Eigenschaften	260
7.5.3	Legierungen	261
7.6	Fragen zu Kap. 7	262
8	Kunststoffe	263
8.1	Bezeichnung der Kunststoffe	263
8.2	Herstellung von Kunststoffen	264
8.2.1	Synthese	264
8.2.2	Technische Herstellung (Polymerisation)	267
8.2.3	Formgebung	268
8.2.4	Additive	271
8.3	Kunststoffgruppen	271
8.3.1	Thermoplaste	271
8.3.2	Elastomere	275
8.3.3	Duroplaste	275

8.4	Physikalische und mechanische Eigenschaften	277
8.4.1	Physikalische Eigenschaften	277
8.4.2	Mechanische Eigenschaften	277
8.5	Wichtige Kunststoffe mit Anwendungen	283
8.6	Fragen zu Kap. 8	283
9	Keramische Werkstoffe	285
9.1	Herstellung, Struktur	285
9.1.1	Einteilung der keramischen Massen	285
9.1.2	Formgebung	287
9.1.3	Brennvorgang – Sintern – Reaktionssintern	289
9.1.4	Atomare Vorgänge beim Brennen	289
9.1.5	Gefügebau	290
9.2	Eigenschaften	290
9.2.1	Oxidkeramik	291
9.2.2	Nichtoxidkeramik	295
9.3	Wärmedämmschichten	300
9.4	Fragen zu Kap. 9	301
10	Verbundwerkstoffe	303
10.1	Allgemeines	303
10.1.1	Verstärkungsmittel und Füllstoffe	304
10.1.2	Matrixwerkstoffe	304
10.2	Faserverstärkte Verbundwerkstoffe	306
10.2.1	Faserverstärkte Kunststoffe	308
10.2.2	Herstellung faserverstärkter Kunststoffe	309
10.2.3	Faserverstärkte Metalle (MMC, Metal Matrix Composite)	311
10.2.4	Herstellung faserverstärkter Metalle	312
10.2.5	Faserverstärkte Keramik (CMC, Ceramic Matrix Composite) ..	313
10.2.6	Herstellung keramischer Verbundwerkstoffe	314
10.3	Teilchenverbundwerkstoffe	315
10.3.1	Metallkeramik	315
10.4	Schichtverbundwerkstoffe	316
10.5	Beschichtungstechnik	317
10.5.1	Einleitung	317
10.5.2	Beschichtungsverfahren	318
10.5.3	Verhalten von Beschichtungen	321
10.6	Fragen zu Kap. 10	322
11	Physikalische Eigenschaften	323
11.1	Dämpfung	323
11.2	Wärmeleitfähigkeit	324

11.3	Thermoelektrizität	326
11.4	Halbleiter	328
11.4.1	Gewinnung und Verarbeitung	328
11.4.2	Eigenschaften	330
11.5	Supraleitung	330
11.5.1	Supraleiter I. Art	331
11.5.2	Supraleiter II. Art	331
11.5.3	Supraleiter III. Art	332
11.6	Fragen zu Kap. 11	333
12	Korrosion	335
12.1	Definition der Korrosion	335
12.2	Korrosion metallischer Werkstoffe	338
12.2.1	Grundlagen zur Korrosion in wässrigen Medien	338
12.2.2	Korrosionsarten	343
12.2.3	Korrosionsschutz	356
12.3	Beispiele für die Korrosion nichtmetallischer Werkstoffe	361
12.3.1	Korrosion silikatechnischer Werkstoffe	361
12.3.2	Korrosion hochpolymerer Werkstoffe	362
12.4	Fragen zu Kap. 12	362
13	Recycling	365
13.1	Recycling von Stahl	365
13.1.1	Einteilung und Klassifizierung von Stahlschrott	366
13.1.2	Aufbereitung	367
13.1.3	Wirtschaftliche Bedeutung	367
13.1.4	Nebenprodukte und Entfallstoffe	367
13.2	Recycling von Aluminium	368
13.2.1	Aufbereitung von Rückständen aus der Aluminiumindustrie ..	369
13.2.2	Recycling von Altschrotten	370
13.3	Recycling von Kupferwerkstoffen	371
13.3.1	Wirtschaftliche Bedeutung	371
13.3.2	Einteilung der Kupferschrotte	372
13.3.3	Aufbereitung	372
13.3.4	Nebenprodukte und Entfallstoffe	374
13.4	Recycling von Kunststoffen	375
13.5	Fragen zu Kap. 13	377
14	Tribologische Beanspruchung	379
14.1	Problematik	379
14.2	Verschleißarten und Verschleißmechanismen	380

14.3	Beispiele tribologischer Systeme	382
14.3.1	Adhäsionsprozesse	382
14.3.2	Abrasionsprozesse	384
14.3.3	Ermüdungsprozesse	385
14.3.4	Schwingungsverschleiß	388
14.4	Werkstoffe für tribologisch beanspruchte Bauteile	389
14.5	Fragen zu Kap. 14	390
15	Kriterien zur Werkstoffauswahl	391
15.1	Gründe für die Werkstoffauswahl	391
16	Kriterien zur Schadensbewertung	393
	Antworten zu den Verständnisfragen	395
	Weiterführende Literatur	405
	Sachverzeichnis	411